

Analisis Numerik Terobosan Resonansi Pada Struktur Lapis Dua GaAs / $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ Menggunakan Algoritma Numerov.

Yarni M. Patonde, Paulus Lobo Gareso, dan Eko Juarlin

Abstrak

Pada penelitian ini dibuat struktur dua lapisan *barrier* serta fungsi gelombang yang melewati lapisan tersebut menggunakan algoritma Numerov pada *software* matlab.

Pada penelitian ini dibuat program untuk menghitung koefisien transmisi di lapisan ke-2 material $\text{GaAs} / \text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ dengan berbagai variasi tegangan bias dan energi. Tegangan bias yang digunakan mulai dari -0,5, -0,1, 0, 0,1 dan 0,5 sedangkan energi yang digunakan mulai dari rentang 0 eV sampai 1 eV. Kemudian hasil dari perhitungan tersebut dibuat grafik antara energi dan koefisien transmisi untuk menganalisis fenomena resonansi *tunneling* yang terjadi.

Kata kunci: *Tunneling, NumerovAlgorithm, Triple-Barrier, koefisien transmisi.*

1. Pendahuluan

Galium arsenat (GaAs) dan paduan *ternary*-nya merupakan material yang sangat potensial untuk aplikasi divais elektronik maupun optoelektronik. Bahan GaAs memiliki struktur celah pita energi dengan transisi langsung (*direct bandgap*) yang besarnya sekitar 1,42 eV. Kondisi ini membuat material GaAs memiliki efisiensi konversi energi paling tinggi dibanding dengan bahan lain ketika dibuat divais sel surya.

Bahan ini juga memiliki ketahanan radiasi yang tinggi, maka sel surya dari bahan GaAs telah mendominasi pemakaian di ruang angkasa sebagai sumber energi bagi satelit-satelit. Untuk aplikasi divais-divais kuantum, material ini juga sangat kompatibel dibentuk dalam struktur *hetero* dengan material lain. Struktur sumur kuantum berbasis GaAs potensial untuk aplikasi laser yang dapat mengemisikan panjang gelombang IR (*infrared*).

Sumur kuantum AlGaAs/GaAs/AlGaAs telah diaplikasikan pada divais laser yang dapat

mengemisikan panjang gelombang 827 nm. Sumur kuantum GaAs/GaAsSb/GaAs memiliki potensi untuk aplikasi laser dan fotodetektor yang dapat beroperasi pada daerah panjang gelombang 1,3 - 1,55 μm yang sangat dibutuhkan dalam sistem komunikasi yang menggunakan serat optik. Laser dengan struktur sumur kuantum InGaAs/GaAs dapat beroperasi pada panjang gelombang 1,2 μm . Disamping itu bahan GaAs juga dapat menunjukkan sifat magnetik ketika didadah dengan unsur-unsur magnetik seperti Mn yang dapat diaplikasikan untuk divais spintronik. Bahan (GaAs:Mn) menunjukkan sifat magnetik dengan temperatur Currie (T_c) tertinggi sekitar 110 K. *Superlattice* GaMnAs/GaAs memiliki sifat feromagnetik dengan temperatur Currie 60 K^[4].

Sebagai implementasi perhitungan telah dirancang dan dibangun suatu program komputer yang dijalankan pada pc (*personal computer*), sehingga dapat digunakan di berbagai tempat di mana tidak tersedia superkomputer. Dengan digunakannya pc, efisiensi perhitungan menjadi pertimbangan

yang penting. Program yang digunakan adalah Matlab sebagai simulatornya dan metode yang

2. Metode Experiment

Perancangan lapisan *barrier* dimulai dengan menentukan berapa besar wilayah kerja yang akan digunakan untuk membuat *barrier*. Setelah itu, menentukan besar interval jarak yang akan digunakan. Setelah menentukan interval, tahap berikutnya adalah menghitung jumlah titik atau kolom matriks dari wilayah kerja. Adapun rumus yang digunakan adalah:

$$tk = (interval + x)/deltax$$

Dimana tk adalah banyaknya titik atau kolom matriks pada wilayah kerja dan x adalah jarak pada wilayah kerja. Kemudian masukkan rumus tersebut ke dalam program

Tahap selanjutnya adalah menentukan titik-titik *barrier* (Td) serta lebarnya pada wilayah kerja. Karena yang dibutuhkan sebanyak 2 lapisan *barrier* maka ada 4 titik yang ditentukan yaitu Td₁ sampai Td₄.

Setelah menentukan titik-titik *barrier*, tahap berikutnya adalah menentukan ketinggian dari potensial penghalang (Pb) di setiap titik *barrier* (Td). Pada struktur potensial *barrier* material yang digunakan adalah Al_xGa_{1-x}As, dimana pita energi yang dimiliki sebesar 1.424+1.247x, dengan x=0.373 maka besar pita energi adalah 3.313eV. Sedangkan untuk sumur kuantum material yang digunakan adalah GaAs, dimana pita energi yang dimiliki sebesar 1,424eV. Maka besar (Pb) adalah selisih antara pita energi Al_xGa_{1-x}As dan GaAs yaitu sebesar 0,4655eV. Karena *barrier* yang akan dibuat memiliki kemiringan tertentu karena pengaruh tegangan bias (V_{bias}), maka persamaan yang dimasukkan ke dalam program adalah:

$$V = mx + n + Pb$$

digunakan adalah menggunakan algoritma numerov

Hasil dapat dilihat jika digambarkan grafik antara jarak (x) pada sumbu x dan potensial (V) pada sumbu tegak lurus y.

Dalam perancangan fungsi gelombang dibutuhkan algoritma Numerov untuk mencari solusi dari persamaan Schrödinger. Pertama yang harus dilakukan adalah memasukkan persamaan Schrödinger ke dalam program. Adapun persamaan yang dimasukkan adalah :

$$k(x) = 2m(E - V(x))/\hbar^2$$

Dimana x adalah jarak atau wilayah kerja, E adalah energi yang akan ditransmisikan, V adalah besar potensial penghalang. E, dan h merupakan variabel yang menjadi input dari program.

Kemudian masukkan solusi persamaan Schrödinger yang diselesaikan dengan algoritma Numerov ke dalam program. Adapun persamaan yang dimasukkan adalah:

$$\left(1 + \frac{(\Delta x)^2}{12} k_{n+1}\right) \varphi_{n+1} = 2 \left(1 + \frac{5(\Delta x)^2}{12} k_n\right) \varphi_n$$

$$- \left(1 + \frac{(\Delta x)^2}{12} k_{n-1}\right) \varphi_{n-1} + O(\Delta x^6)$$

Dimana Δx merupakan interval jarak, φ_n merupakan fungsi gelombang pada titik diskritisasi dan kn merupakan bilangan gelombang pada titik diskritisasi. Δx merupakan variabel yang menjadi input dalam program.

Sebagai implementasi dari perancangan lapisan *barrier* dan transmisi gelombang setelah lapisan ke-2, didapatkan efek terobosan pada lapisan ke-2. Perbandingan antara kuadrat amplitudo setelah lapisan ke-2 dengan kuadrat amplitudo sebelum lapisan pertama disebut koefisien transmisi. Persamaan untuk menghitung koefisien

transmisi adalah:

$$T = |B|^2 / |A|^2$$

Dimana A adalah amplitudo gelombang yang datang dan B adalah amplitudo gelombang yang diteruskan. Amplitudo gelombang yang diteruskan dapat dilihat pada titik diskritisasi yang ke-4 pada *barrier* yang ke-2.

Analisis peristiwa *Resonansi Tunneling* dilakukan dengan membandingkan antara energi dengan koefisien transmisi. Dengan membuat grafik antara energi dengan koefisien transmisi di lapisan ke-2 maka akan didapatkan hubungan antara energi yang berbeda dengan koefisien transmisi.

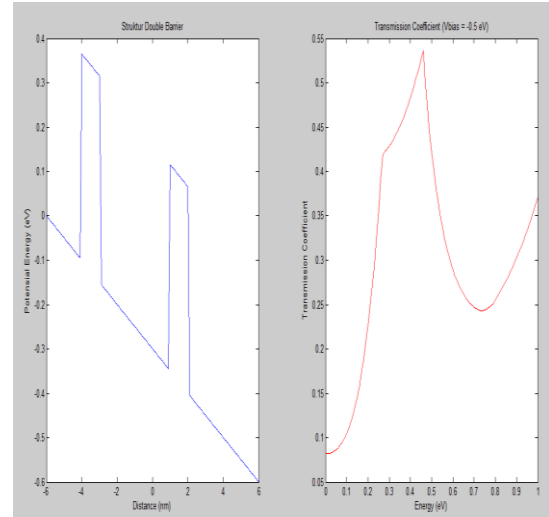
3. HASIL

Hasil dari eksperimen ini menggunakan variasi tegangan bias yaitu -0,5, -0,1, 0, 0,1 dan 0,5. Sedangkan energi yang digunakan dari rentang 0 eV sampai 1 eV.

3.1 Koefisien Transmisi dengan Vbias = -0,5

Gambar 1(a) memperlihatkan data hasil perancangan struktur potensial energi dengan tegangan bias sama dengan -0,5. Dapat dilihat pada gambar 1 dari titik -6 sampai 6 baik sumur maupun potensial energi memiliki *slope/kemiringan* -0,05 yang menandakan bahwa potensial penghalang mengalami pengaruh bias.

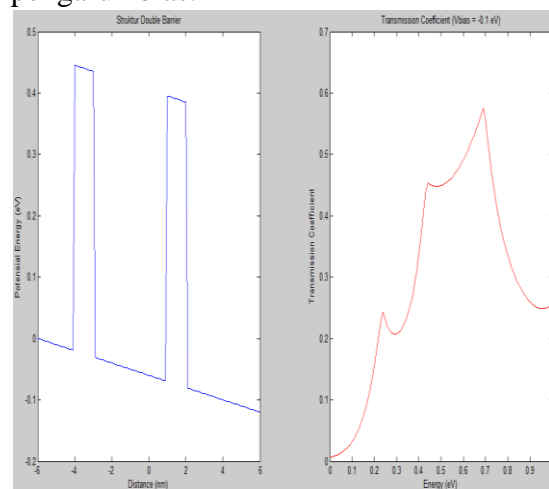
Pada gambar 1 (b) dari hasil yang diperoleh dengan metode simulasi, koefisien transmisi dan energi dengan tegangan bias sama dengan -0,5 memperlihatkan dua puncak (*peak*). Puncak (*peak*) yang terlihat merupakan transisi elektron *hole* atau rekombinasi elektron *hole* dari pita valensi ke pita konduksi.



Gambar 1 (a) Hasil Perancangan Struktur Potensial dan (b) koefisien transmisi dengan V bias = -0,5

3.2 Koefisien Transmisi dengan Vbias = -0,1

Gambar 2(a) memperlihatkan data hasil perancangan struktur potensial energi dengan tegangan bias sama dengan -0,1. Dapat dilihat pada gambar 2 (a) dari titik -6 sampai 6 baik sumur maupun potensial energi memiliki *slope/kemiringan* -0,01 yang menandakan bahwa potensial penghalang mengalami pengaruh bias.

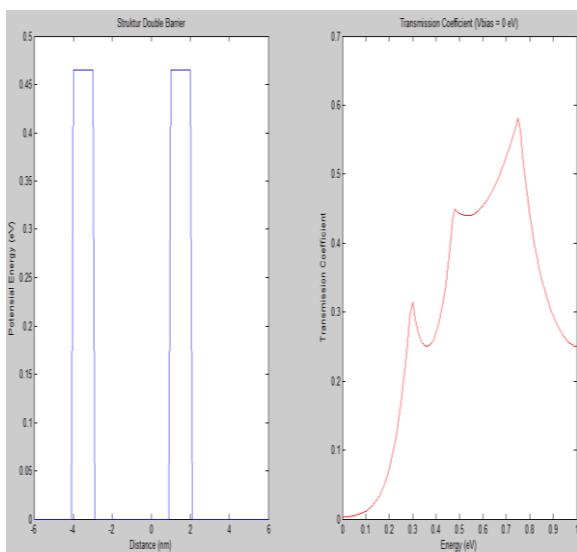


Gambar 2 (a) Hasil Perancangan Struktur Potensial dan (b) koefisien transmisi dengan V bias = -0,1

Pada gambar 2 (b) dari hasil yang diperoleh dengan metode simulasi, koefisien transmisi dan energi dengan tegangan bias sama dengan -0.1 memperlihatkan tiga puncak (*peak*). Puncak (*peak*) yang terlihat merupakan transisi elektron *hole* atau rekombinasi elektron *hole* dari pita valensi ke pita konduksi.

3.3 Koefisien Transmisi dengan $V_{bias} = 0$

Gambar 3 (a) memperlihatkan data hasil perancangan struktur potensial energi dengan tegangan bias sama dengan 0. Dapat dilihat pada gambar 3 (a) dari titik -6 sampai 6 baik sumur maupun potensial energi tidak memiliki *slope*/kemiringan yang menandakan bahwa potensial penghalang tidak mengalami pengaruh bias.

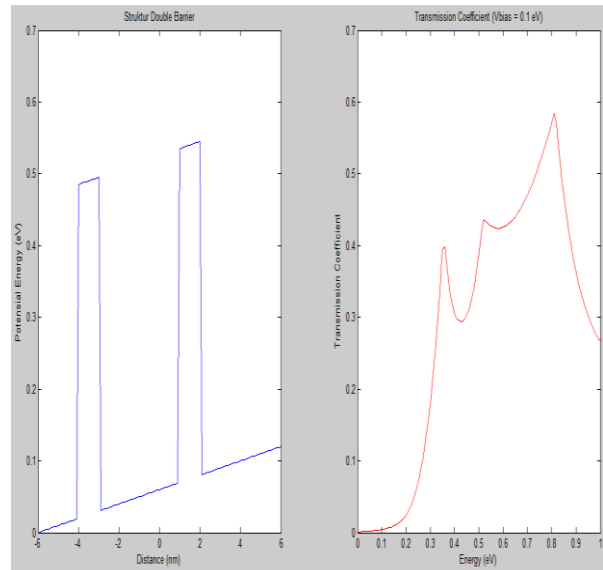


Gambar 3 (a) Hasil Perancangan Struktur Potensial dan (b) koefisien transmisi dengan $V_{bias} = 0$

Pada gambar 3 (b) dari hasil yang diperoleh dengan metode simulasi, koefisien transmisi dan energi dengan tegangan bias sama dengan -0.1 memperlihatkan tiga puncak (*peak*).

3.4 Koefisien Transmisi dengan $V_{bias} = 0.1$

Gambar 4 (a) memperlihatkan data hasil perancangan struktur potensial energi dengan tegangan bias sama dengan 0,1. Dapat dilihat pada gambar 4 (a) dari titik -6 sampai 6 baik sumur maupun potensial energi memiliki *slope*/kemiringan 0,01 yang menandakan bahwa potensial penghalang mengalami pengaruh bias.

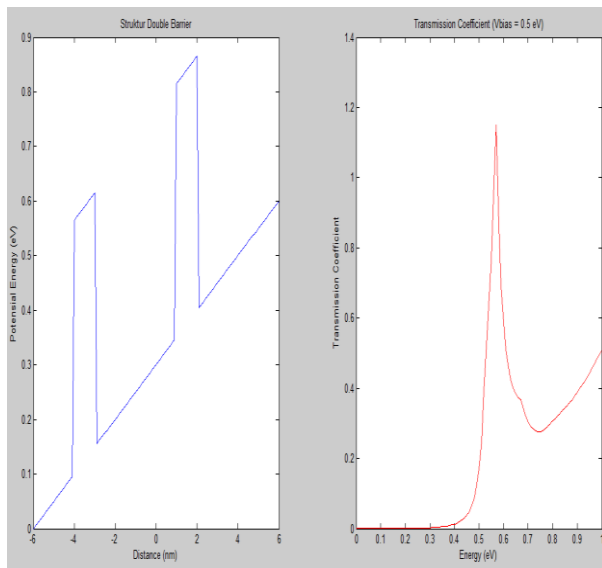


Gambar 4 (a) Hasil Perancangan Struktur Potensial dan (b) koefisien transmisi dengan $V_{bias} = 0,1$

Pada gambar 4(b) dari hasil yang diperoleh dengan metode simulasi, koefisien transmisi dan energi dengan tegangan bias sama dengan 0,1 memperlihatkan tiga puncak (*peak*). Resonansi *tunneling* terjadi pada puncak pertama dimana harga koefisien transmisi mencapai harga 1. Puncak (*peak*) yang terlihat merupakan transisi elektron *hole* atau rekombinasi elektron *hole* pada pita valensi dan pita konduksi.

3.5 Koefisien Transmisi dengan $V_{bias} = 0.5$

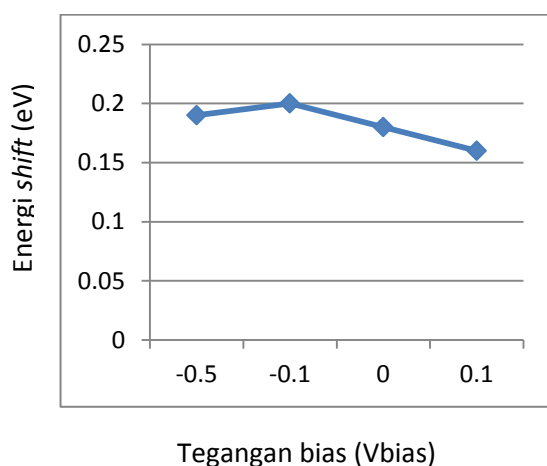
Gambar 5 (a) memperlihatkan data hasil perancangan struktur potensial energi dengan tegangan bias sama dengan 0,5. Dapat dilihat pada gambar 5 (a) dari titik -6 sampai 6 baik sumur maupun potensial energi memiliki *slope*/kemiringan 0,05 yang menandakan bahwa potensial penghalang mengalami pengaruh bias.



Gambar 5 (a) Hasil Perancangan Struktur Potensial dan (b) koefisien transmisi dengan $V_{bias} = 0,5$

Pada gambar 5 (b) dari hasil yang diperoleh dengan metode simulasi, koefisien transmisi dan energi dengan tegangan bias sama dengan 0,5 memperlihatkan hanya satu puncak (*peak*). Puncak (*peak*) yang terlihat merupakan transisi elektron *hole* atau rekombinasi elektron *hole* pada pita valensi dan pita konduksi.

3.5 Tegangan Bias dan Energi Shift



Gambar 6. Grafik antara tegangan bias dan energi *shift*

Pada gambar 6 terlihat bahwa energi *shift* antara E_1 dan E_2 (ΔE) terhadap tegangan bias cenderung konstan. Pada tegangan bias -0.1

terjadi peningkatan energi *shift* kemudian turun pada tegangan bias 0 dan selanjutnya stabil dengan energi *shift* sebesar 0.16 eV pada tegangan bias 0,5.

Vbias	E1 (eV)	E2 (eV)
-0.5	0.27	0.46
-0.1	0.24	0.44
0	0.3	0.48
0.1	0.36	0.52

Tabel 3.1 Tabel Energi pada masing-masing *peak*

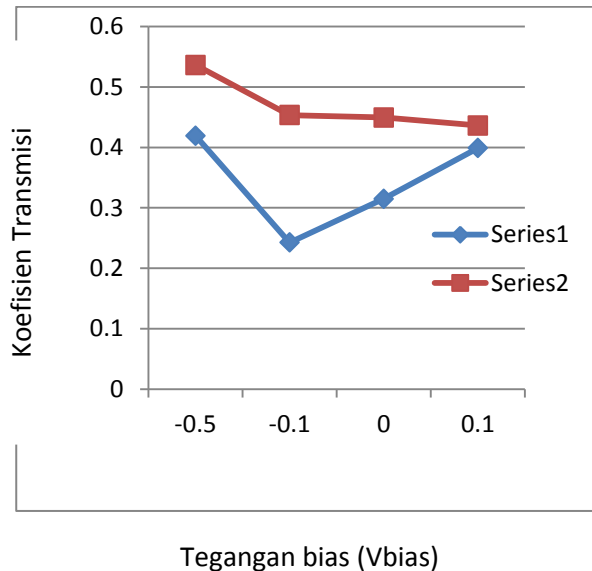
Vbias	deltaE (eV)
-0.5	0.19
-0.1	0.2
0	0.18
0.1	0.16

Tabel 3.2 Tabel Energi *shift*

3.6 Tegangan Bias dan Koefisien Transmisi

Pada gambar 7 terdapat tiga grafik masing-masing adalah KE1, KE2, dan KE3 yang merupakan koefisien transmisi pada *peak* pertama, kedua, dan ketiga pada tegangan bias yang berbeda. Pada KE1 koefisien transmisi menunjukkan peningkatan dimulai tegangan bias -0,5 dengan koefisien transmisi 0,192 sampai dengan tegangan bias 0,1 dengan koefisien transmisi 1,55. Begitu pula dengan KE2 dan KE3. Jadi, semakin besar tegangan bias yang diberikan dalam hal ini tegangan bias positif maka koefisien transmisi pada *peak* juga akan semakin besar. Hal ini terjadi karena semakin besar tegangan bias yang diberikan maka energi yang dibutuhkan elektron untuk *tunneling* juga semakin besar bahkan dapat melebihi potensial *barrier*. Ini dapat dilihat pada gambar 4.6 pada tegangan bias 0,5, ketika energi yang datang melebihi potensial *barrier* maka resonansi *tunneling* praktis hanya terjadi pada *barrier* kedua dan ketiga dimana *barrier* ketiga mempunyai ketebalan hanya 1 nm. Hal ini membuat

elektron lebih mudah *tunneling* dengan koefisien transmisi yang lebih besar.



Gambar 7 Grafik antara tegangan bias dan koefisien transmisi pada masing-masing *peak*

4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Telah dibuat 2 lapisan struktur potensial serta fungsi gelombang berbasis PC (*personal computer*).
2. Telah dilakukan perhitungan koefisien transmisi dilapisan ke-2, dimana terlepas dari *peak-peak* yang terbentuk, koefisien transmisi mengalami peningkatan seiring bertambahnya energi.
3. Untuk tegangan bias negatif, meningkatnya tegangan bias menyebabkan peningkatan *peak* koefisien transmisi serta terjadi fenomena resonansi *tunneling*. Untuk tegangan bias positif, meningkatnya tegangan bias juga menyebabkan peningkatan *peak* koefisien transmisi dan kita dapat melihat fenomena resonansi *tunneling*.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Liu, Lei dan Justus Schneider,. 2011. *Tutorial Introduction to Computational Physics SS2011*. <http://www.ari.uni-heidelberg.de/lehre/SS11/compphys/uebung6.pdf>. Diakses tanggal 10 Februari 2012
- [2]. Purwanto, Agus. 1996. *Pengantar Fisika Kuantum*. Citra Media: Surabaya
- [3]. Sudaryatno S, Ning Utari. *Mengenal Sifat-Sifat Material*. <http://www.biomed.ee.itb.ac.id/course/s/Material%20biomedika/BAB%203%20b5%20Persamaan%20Schro%20ding%20er.pdf> . diakses tanggal 1 Februari 2012
- [4]. Suhandi, A. 2005. *Karakteristik Film Tipis GaAs yang Ditumbuhkan dengan Metode MOCVD Menggunakan Sumber Metalorganik TDMAAs (Trisdimethylaminoarsenic)*. <http://jms.fmipa.itb.ac.id/jms/article/viewFile/83/76> . Diakses tanggal 31 Januari 2012
- [5]. <http://phys.unpad.ac.id/wp-content/uploads/2009/03/Fisika-Kuantum.pdf>
- [6]. <http://ijp.papsi.org/index.php/ijp/article/viewFile/198/198>